

Quelles modélisations pour le corps social ?

Quel est le contrat sociétal du vivant ?

Pierre BRICAGE

<http://afscet.asso.fr/pagesperso/Bricage.html><http://iascys.org/pb/bplASCYSpageFR.pdf><http://armsada.eu>

résumé

Tout organisme vivant (Bricage 1988, 1991, 2001d, 2002b), quel que soit son niveau d'organisation (Bricage 2001c, 2009b, 2014b), appartient à **un réseau de survie** (Bricage 2000a, 2000b, 2002a), au sein duquel il représente potentiellement une **capacité d'accueil** pour d'autres systèmes vivants (Bricage 2000c, 2001a) et où il présente lui-même une **capacité d'être accueilli** par d'autres systèmes vivants (Bricage 2003). Pour décrire les relations entre organismes vivants, au sein d'une même espèce, ou entre réseaux d'espèces différentes (Bricage et al. 1989), on utilise habituellement les concepts d'interaction prédateur-proie (Bricage 1975), de commensalisme, de compétition, d'antagonisme, d'ago-antagonisme (Bernard-Weil et Bricage 2005), de dilemme des prisonniers itéré (Bricage 2014d, 2015), d'association gagnant-gagnant (Bricage 2016), de mutualisme, de symbiose (Margulis 1981; Saap 1994), de sélection, naturelle ou pas (Bricage 2009b).

Quels sont les rapports de force (Bricage 2001a, 2002a) qui maintiennent la structure fonctionnelle d'un **système** vivant et orientent son devenir (Bricage 2005a) ? Toute société est-elle toujours composée d'**individus unis dans la diversité** (Bricage 2001b) et partageant le même contrat sociétal (Bricage 2005b; Bricage et Nunez 2005) ?

Quel type de « **pacte** » est-il contracté (Bricage 2002c, 2005a, 2005b, 2005c, 2011a), entre tous les participants d'un même **réseau de systèmes** vivants (Bricage 2000c, 2001b), **pour assurer la résilience et la durabilité de ce système de systèmes** (Bricage 2002c, 2008) ? Quel modèle systémique opérationnel est-il mis en œuvre (Bricage 2014c, 2014e, 2014f, 2014g) ?

Quelles sont **les valeurs contractuelles, les relations dynamiques et les histoires partagées** au cours de l'évolution des systèmes vivants qui permettent la mise en place d'interactions durables (Bricage 2010a, 2011b, 2013; Bricage et al. 2007) ? Quelles leçons l'espèce humaine ne pourrait-elle pas en tirer pour sa propre survie (Bricage 2001d, 2009a, 2014a, 2016) ?

What is the societal contract of survival of living systems?

Pierre BRICAGE

<http://iascys.org/pb/bplASCYSpageEN.pdf><http://armsada.eu><http://afscet.asso.fr/pagesperso/Bricage.html>

abstract

Every living organism (Bricage 1988, 1991, 2001d, 2002b), whatever its level of organisation (Bricage 2001c, 2009b, 2014b), belongs to **a survival network** (Bricage 2000a, 2000b, 2002a), in which it potentially represents a **hosting capacity** for other living systems (Bricage 2000c, 2001a) and in which it itself presents a **capacity to be hosted** by other living systems (Bricage 2003). To describe relationships between living organisms, within the same species, or between networks of different species (Bricage et al. 1989), the concepts of predator-prey interaction (Bricage 1975), commensalism, competition, antagonism, ago-antagonism (Bernard-Weil and Bricage 2005), iterated prisoner dilemma (Bricage 2014d, 2015), win-win association (Bricage 2016), mutualism, symbiosis (Margulis 1981; Saap 1994), selection, natural or man-made (Bricage 2009b), have been defined as models of evolution processes.

What are the power relationships (Bricage 2001a, 2002a) that maintain the functional structure of a living **system** and govern its future (Bricage 2005a)? Is every society always composed of "**united through diversity**" individuals (Bricage 2001b) sharing a same societal deal (Bricage 2005b; Bricage et Nunez 2005)?

What kind of "pact" is sealed (Bricage 2002c, 2005b, 2011a) between all partners of the same living **systems network** (Bricage 2000c, 2001b), **to ensure the resilience and sustainability of the system of systems** (Bricage 2002c, 2008)? What **operational emerging systemic model** is implemented (Bricage 2014c, 2014e, 2014f, 2014g)?

What are the **contractual values, dynamic relationships and shared histories** during the evolution of living systems that enable the establishment of **sustainable interactions** (Bricage 2010a, 2011b, 2013; Bricage et al. 2007)? What ethical lessons could the human species learn for its own potential survival (Bricage 2001d, 2009a, 2014a, 2016)?

¿Cuál es el contrato social de los sistemas vivos?

Pierre BRICAGE

<http://iascys.org/pb/BricagePierreIASCYSbio.pdf><http://armsada.eu><http://afscet.asso.fr/pagesperso/Bricage.html>

resumen

Todo organismo vivo (Bricage 1988, 1991, 2001d, 2002b), cualquiera que sea su nivel de organización (Bricage, 2001c, 2009b, 2014b), pertenece a **una red de supervivencia** (Bricage 2000a, 2000b, 2002a) en la cual representa potencialmente una **capacidad de acogida para otros sistemas vivos** (Bricage 2000c, 2001a) y donde presenta asimismo la **capacidad de ser acogido por otros sistemas vivos** (Bricage 2003). Para describir las relaciones entre organismos vivos, dentro de una misma especie, o entre redes de especies diferentes (Bricage et al. 1989), se utilizan generalmente los conceptos de interacción predador-presa (Bricage 1975), de comensalismo, de competición, de antagonismo, de ago-antagonismo (Bernard-Weil & Bricage 2005), de dilema de los presos iterado (Bricage 2014d, 2015), de asociación beneficiosa ["win-win"] (Bricage 2016), de mutualismo, de simbiosis (Margulis 1981; Saap 1994), de selección, natural o no (Bricage 2009b).

¿Cuáles son las relaciones de fuerza (Bricage 2001a, 2002a) que mantienen la estructura funcional de un sistema vivo y orientan su destino (Bricage 2005a)? ¿Sigue compuesta toda sociedad **por personas unidas en la diversidad** (Bricage 2001b) y que comparten el mismo contrato social (Bricage 2005b; Bricage & Núñez 2005)?

¿Qué tipo de «pacto» se contrata (Bricage 2002c, 2005b, 2011a) entre todos los participantes de una misma red de sistemas vivos (Bricage 2000c, 2001b), **para garantizar la resiliencia y la durabilidad del sistema de sistemas** (Bricage 2002c, 2008)? ¿Qué modelo operativo sistémico se aplica (Bricage 2014c, 2014e, 2014f, 2014g)?

¿Cuáles son los valores contractuales, las relaciones dinámicas y las historias comunes vividas juntas durante la evolución de los sistemas vivos **que permiten establecer interacciones sostenibles** (Bricage 2010a, 2011b, 2013; Bricage et al. 2007)? ¿Qué lecciones podría extraer la especie humana para su propia supervivencia (Bricage 2001d, 2009a, 2014a, 2016)?

生活的社会契约是什么？

Pierre BRICAGE

<http://iascys.org/pb/BricagePierreIASCYSbio.pdf><http://afscet.asso.fr/pagesperso/Bricage.html><http://armsada.eu>

摘要 (人工智能软件翻译)

任何生物 (Bricage 1988, 1991, 2001d, **2002b**), 无论其组织水平如何 (Bricage 2001c, 2009b, **2014b**), 都属于一个生存网络 (Bricage 2000a, 2000b, 2002a), 在该网络中, 它可能代表其他生物系统的宿主能力 (Bricage 2000c, 2001a), 而且它本身也提供了一种受到其他生物系统欢迎的能力 (Bricage 2003)。为了描述活生物体之间、同一物种内、或不同物种网络之间的关系 (Bricage et al. 1989), 我们通常使用捕食者-猎物相互作用 (Bricage 1975)、共鸣、竞争、对抗、前对抗 (Bernard-Weil & Bricage 2005)、迭代囚徒困境 (Bricage 2014d, 2015)、双赢关联 (Bricage **2016**)、共生 (Margulis 1981; Saap 1994)、选择、自然与否的概念 (Bricage 2009b)

维持生命系统功能结构、引导其未来的"权力关系"是什么 (Bricage 2001 a, 2002a, **2005a**)?

每一个社会是否总是由个人组成 (Bricage 2001b), 在多样性和共享同一个社会契约中团结起来 (Bricage 2005b; Bricage & Nunez 2005)? 同一生活系统网络的所有参与者之间订立了何种类型的"契约" (Bricage 2000c, 2001b, 2002c, 2005b, 2011a), 以确保系统的复原力和可持续性 (Bricage 2002c、**2008**) ?

正在实施哪种操作系统模式 (Bricage **2014 c, 2014 e, 2014 f, 2014g**) ?

在生活系统的演变过程中, 可以建立持久互动的契约价值、动态关系和故事是什么 (Bricage 2010a, 2011b, 2013 ; Bricage et al. 2007)? 人类不能为自己的生存而吸取哪些教训 (Bricage 2001d, 2009a, **2014a**) ?

citation : Bricage P. (2023) Quel est le contrat sociétal du vivant ? Quelles modélisations pour le corps social ? Journées AFSCET, Andé, 19 p., CC-Licence, http://afscet.asso.fr/Ande23/pbAnde2023armsada19p_O.pdf

Quelles modélisations pour le corps social ?

Introduction

Observons le fonctionnement d'une fourmilière. On y distingue différents types morphologiques et comportementaux de fourmis (larves, ouvrières stériles, soldats, adultes reproducteurs). On parle de « castes » et d'insectes « sociaux ». Et on s'étonne du comportement collectif, orienté, déterministe, de ces organismes individuellement aussi simples. L'erreur est de croire que l'organisme est la fourmi. L'organisme c'est la fourmilière (Bricage 2010a) ! Pourquoi ?

Tout système vivant, quel que soit son niveau d'organisation, possède 7 caractéristiques fonctionnelles **mutuellement nécessaires et suffisantes** (figure 1 : **l'invariance de jauge du vivant**) **et interdépendantes** (Bricage 1991, 2002b): **-la capacité de mobilisation de la matière et de l'énergie**, qui permet éventuellement **-la croissance en masse**, contrôlées par **-la capacité de répondre à des stimulations**, ces capacités exprimées ensemble permettent l'expression de **-la capacité de mettre en place une organisation spatiale et temporelle (un espace-temps-action interne : l'endophysiotope), "accueilli" par un espace-temps-action externe d'accueil, l'écoexotope**, (figures 2a1 et 2b2) **dont il est indissociable**, ce, si, et seulement si, la capacité d'accueil de l'écoexotope et la capacité d'être accueilli de l'endophysiotope sont en adéquation, c'est **-la capacité d'intégration**, de ne faire qu'un avec l'ensemble de l'espace-temps-action de survie (Bricage 2003, 2005a, 2005b). Tôt ou tard, **-la capacité de mouvement**, actif ou passif, interne ou externe, est nécessaire. Ces 6 capacités permettent "seulement" au système de survivre, et "seulement" pour se survivre ; "se survivre" c'est **-la capacité de reproduction**, qui permet à l'organisme de « redonner sa forme de vie » et éventuellement de croître en nombre, selon le type de reproduction mis en œuvre (reproduction sexuée, à 2 sexes ou plus, ou/et multiplication végétative).

Une fourmi isolée est incapable de survivre et de redonner une fourmilière. Seule la fourmilière peut redonner une fourmilière et permettre la survie des fourmis qui la constituent. Les fourmilières d'une même espèce, et *a fortiori* celles d'espèces différentes, possèdent une personnalité unique, avec un comportement d'activités en propre (cueillette, culture, récolte, chasse), à la fois dans l'espace et dans le temps ("type vigile").

C'est la même chose pour un essaim d'abeille ou une colonie de termites. L'organisation, l'organisme, **le système capable de survivre et de se survivre** c'est la ruche ou la termitière, et ni l'abeille, ni le termite.

Qu'en est-il de l'espèce humaine ?

1. Survivre c'est manger et ne pas être mangé.**Tôt ou tard il est impossible de ne pas être mangé.**

Dans l'espèce humaine, **l'organisme minimal, capable de survivre et de se survivre**, de redonner sa forme de vie, c'est le couple reproducteur. Un organisme "étendu" peut exister, si les conditions de survie le permettent ou le nécessitent, c'est la famille, voire la tribu, selon les structures sociétales de survie.

C'est le cas pour toutes les espèces à reproduction sexuée avec sexes séparés.

Survivre c'est d'abord manger. C'est la meute de loups qui assure la chasse pour la survie de ses membres. Et l'organisme, capable de redonner sa forme de vie c'est la meute. Même si au sein de la meute, seul le couple dominant se reproduit, la survie de la génération future est assurée par la survie de la meute et pour la survie de la meute, sorte de "famille élargie".

1-a. Pour que l'un survive il faut d'abord que l'autre survive et réciproquement.

Face à **la compétition pour manger**, entre individus de la même espèce et entre individus d'espèces différentes, certaines espèces ont développé entre elles des collaborations de survie, **pour manger ou pour ne pas être mangé**. C'est le cas de l'espèce humaine avec ses espèces animales et végétales domestiques. Pour que l'homme éleveur survive, il faut d'abord que ses animaux domestiques survivent et se survivent. Pour que l'homme agriculteur survive, il faut d'abord que ses plantes domestiques survivent et se survivent. Et pour que les animaux ou les plantes domestiques survivent et se survivent il faut d'abord que l'homme survive et se survive. **"Pour que l'un survive, et se survive, il faut d'abord que l'autre survive, et se survive, et réciproquement."**

Quelles modélisations pour le corps social ?

Figure 1 The 7 'freedom degrees' of every living system level: [the gauge invariance paradigm](#).
(Adapted from Bricage 1991, 2002b, 2017, 2019, CC-licence)

Figure 1a **7 functional capacities are mutually necessary and sufficient for to be a living system** (Bricage 1991).

Whatever the level of organisation (figure 2b3), every level, *i, j, k*, is defined by THE INTERACTIVE CAPACITIES of

1. MATTER and ENERGY FLOWS CONTROLS
 2. MASS GROWTH
 3. REACTIONS TO external and internal STIMULATIONS
 4. INNER SPACE-TIME ORGANISATION (action-space-time ontogeny)
 5. OUTSIDE INTEGRATION into an **ecoexotope** of survival [*exo*, external, *tope*, space-time, *eco*, of inhabitation]
 6. MOTION (external or internal, passive or active, movements)
- useful CAPACITIES FOR THE SURVIVAL of the **endophysiotope** [*endo*, internal, *tope*, space-time, *physio*, of functioning]
- IN ORDER for the living SYSTEM (figure 2a1) TO "ITSELF SURVIVE ITS SELF":
7. only after the adult condition metamorphosis, REPRODUCTION, with or without NUMBER GROWTH,

Figure 1b Example at the genomic level of a cell (*i level*): always 7 kinds of functional genes (grey arrows).

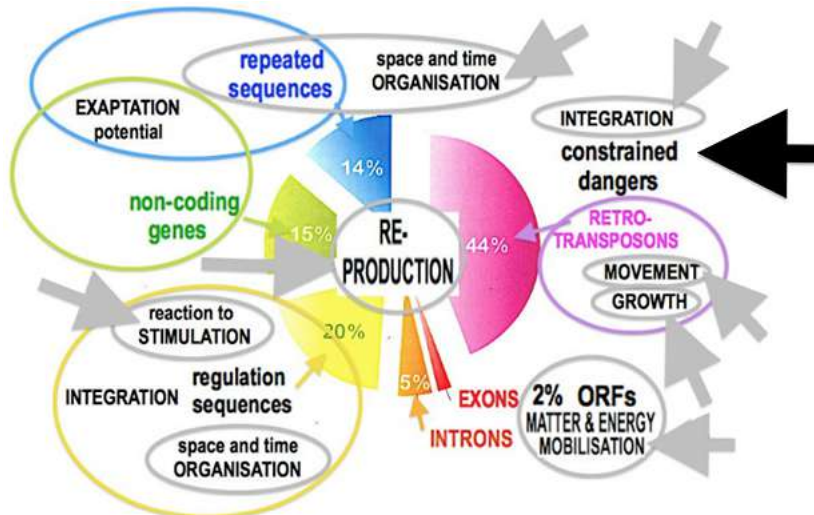


Figure 1c Example at the meta-cellular organisms level (*i+1 level*): a few books for every capacity.

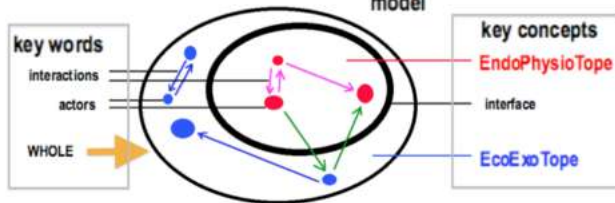
1. MATTER and ENERGY FLOWS CONTROLS
-Energy forAnimal Life. (174 p., OUP, Oxford, UK, McNeill Alexander R., 1999)
2. MASS GROWTH
-Scale: The Universal Laws of Growth, Innovation, Sustainability, and the Pace of Life in Organisms, Cities, Economies, and Companies. (496 p., Penguin Press, London, UK, West G., 2017)
3. REACTIONS TO STIMULATIONS
-Avoiding Attack. The Evolutionary Ecology of Crypsis, Warning Signals and Mimicry. (264 p., OUP, Oxford, UK, Ruxton G.D., T.N. Sherratt and M.P. Speed, 2004),
-Comparative cognition. (720 p., OUP, Oxford, UK, Wasserman E.A. and T.R. Zentall, 2009)
4. INNER ACTION-SPACE-TIME ORGANISATION
-Rhythms of Life: The Biological Clocks that Control the Daily Lives of Every Living Thing. (288 p., YUP, Yale, USA, Foster R.G. and L. Kreitzman, 2005),
-Clinical Anatomy and Physiology of Exotic Species: Structure and function of mammals, birds, reptiles and amphibians. (272 p., Saunders Ltd, Dublin, Ireland, O'Malley B., 2005)
5. OUTSIDE INTEGRATION
-The Origin and Evolution of Mammals. (344 p., OUP, Oxford, UK, Kemp T.S., 2004)
6. MOTION
-Principles of Animal Locomotion. (384 p., PUP, Princeton, USA, McNeill Alexander R., 2006)
7. REPRODUCTION, NUMBER GROWTH
-Size and Gender Roles: Evolutionary Studies of Sexual Size Dimorphism. (280 p., OUP, Oxford, UK, Fairbairn D.J., W.U. Blanckenhorn and T. Székely, 2007),
-The Origin of Humanness in the Biology of Love. (227 p., Imprint Academic, Exeter, UK, Maturana Romesin H. and G. Verden-Zöller, 2009),
-Embryonic Stem Cells. (360 p., OUP, Oxford, UK, Notarianni E. and M.J. Evans, 2006).

Quelles modélisations pour le corps social ?

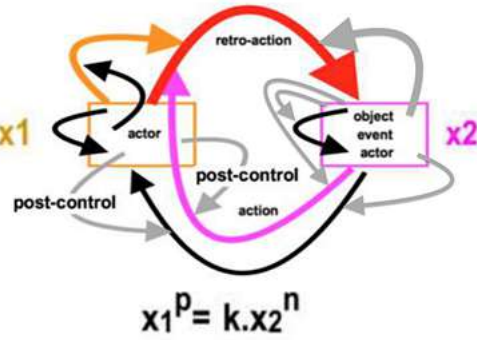
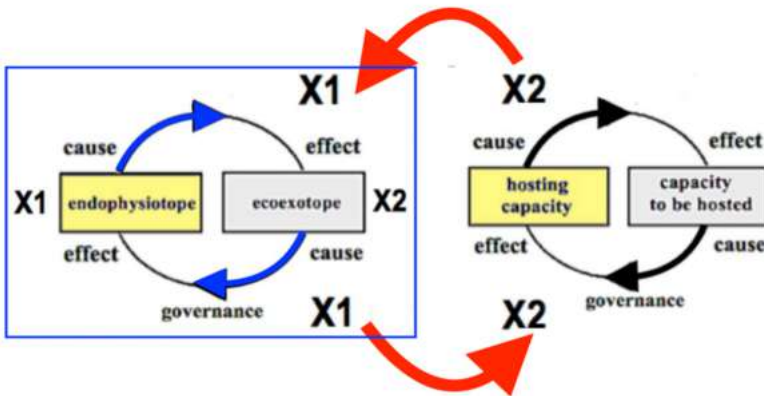
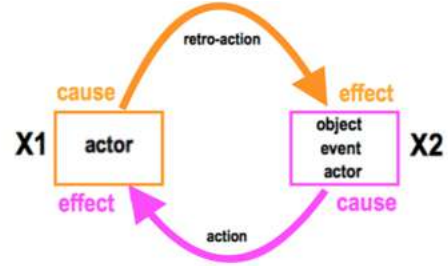
Figure 2 The fractal structure of living systems (ergodicity): **hosting capacity & capacity to be hosted.**
 (Adapted from Bricage 2002b, 2010a, 2014b, 2017, 2018, CC-licence)

Figure 2a **EcoExoTope & Endophysiotope interactions.**

2a1- definition of a living system.



2a2- cross interactions between actors.



2a3- interactions between the hosting capacity of the ecoexotope and the capacity to be hosted of the endophysiotope.

2a4- two actors agoantagonism power law of control.

Every cause is at the origin of an effect which, sooner or later, turns to a cause. Then we don't know which is now cause or effect.

Figure 2b **Encasements and juxtapositions (ergodicity) of every living system of systems: an iterative process.**

Cyber-systemics of a living **system-of-systems** (modelling modularity).

Every endophysiotope is both **HOSTED** into (**inhabiting**) an ecoexotope of the same **level of organisation (steps i-2, ..., i+1)** and **HOSTING** (**inhabited** by) endophysiotopes and ecoexotopes of inferior levels of organisation. Down to top complexity: black arrows, through juxtapositions and encasements endophysiotopes of organisation levels **i-j** (0<j<n) are modules inhabiting endophysiotopes of an organisation level **i+1** which is their global common ecoexotope of survival (Bricage 2001b, 2001c, CC-licence).

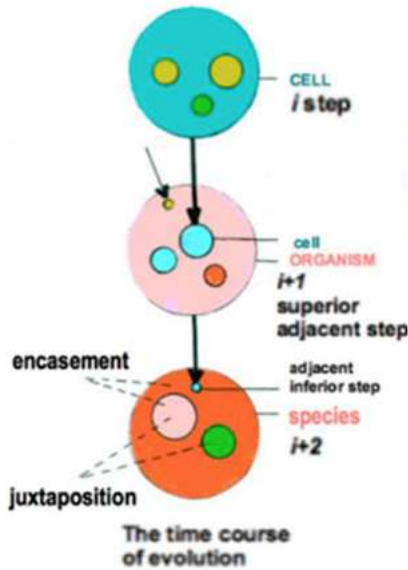


Figure 2b1

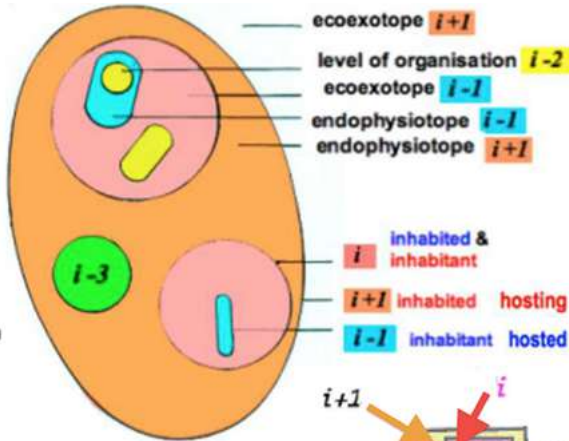


Figure 2b2

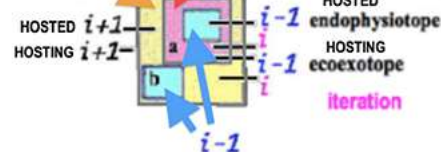


Figure 2b3

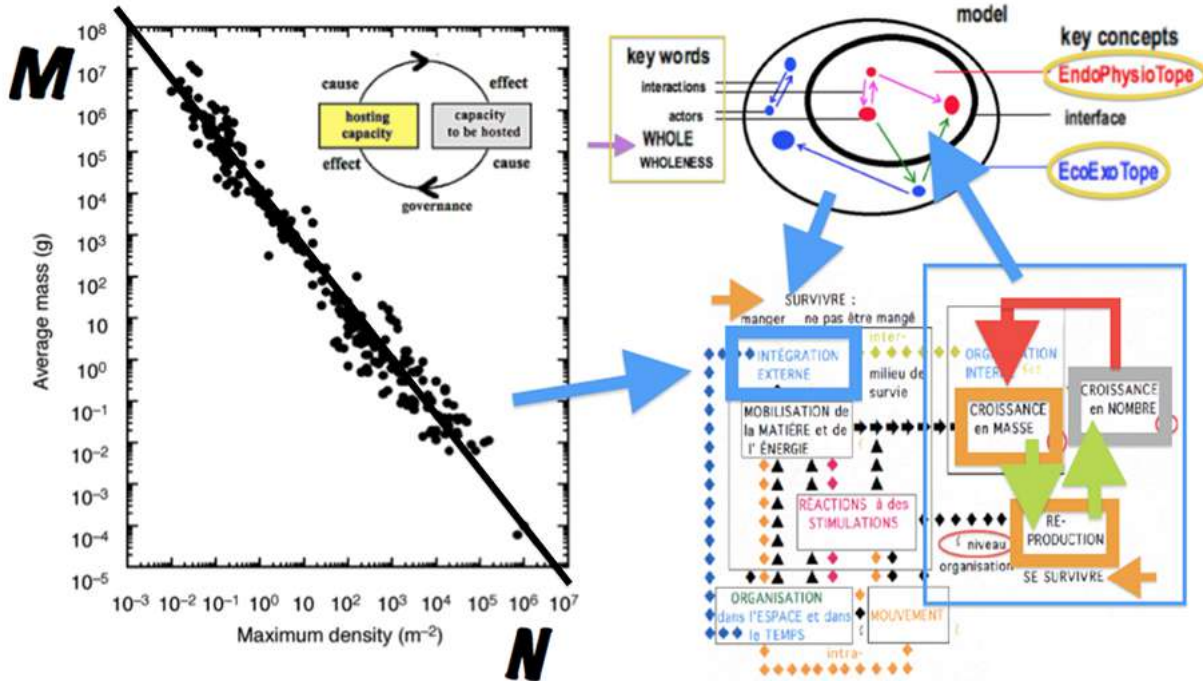
Every jump from a level to another is controlled by **the gauge invariance law** which defines every organisation level.

Quelles modélisations pour le corps social ?

Figure 2c An example at the ecosystems level (i+2 level)

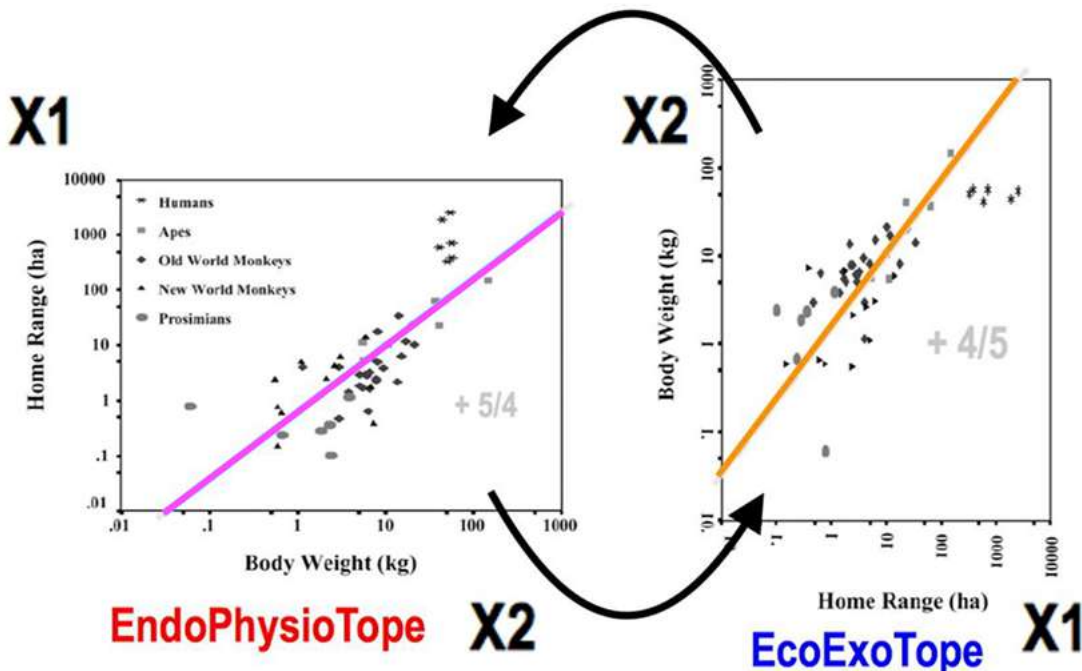
A power law is a **measure of the control** of the interactions between the ecoexotope (with a limited hosting capacity) and the mass growth M and number growth N of the hosted endophysiotope (with a co-restricted capacity to be hosted): in log-log plot, $M=kN$

2c1- A power law is representative of **ago-antagonism** when $k<0$, which means steady state, **homeostasis**.



2c2- A power law is representative of **ago-synergism, exponential reinforcement**, when $k>0$

Measure of the dependence of the interactions between the **ecoexotope, with a limited hosting capacity** (measured by its home range X1) and the mass growth X2 of the hosted endophysiotope: in log-log plot, $X1=k_{12}X2$ or $X2= k_{21}X1$ is depending on which parameter, X1 or X2, is considered as the limiting one for the other.



Because of repetitive embedments and juxtapositions (figure 2b), the concept of "environment" is not differential, and with no clear-cut, but referring to endophysiotope and ecoexotope and the level of organisation (figure 1a) is unambiguous.

Quelles modélisations pour le corps social ?

Dans la forêt boréale, face au très grand froid, à la neige, à la glace et au blizzard, pour survivre face aux loups et aux ours, l'homme a mis en place **des interactions de survie** avec le chien, qui est un loup domestique¹, et le renne, animal semi-sauvage², utilisé à la fois pour la traction et l'alimentation. **Pour que l'un survive**, le renne, le loup ou le chien, **il faut d'abord que tous les autres survivent**. Dans ce réseau d'interactions trophiques (figure 2c), où **survivre c'est "manger et ne pas être mangé"**, et où, **"tôt ou tard, il est impossible de ne pas être mangé"**, l'homme est le compétiteur en haut du réseau alimentaire, qu'il tente de détourner à son seul profit, par l'élevage et la chasse (Bricage 2000a, 2011b, 2016). Pour détourner la matière et l'énergie de l'ensemble des ressources de survie à son profit, et à celui de ses animaux domestiques (le renne, le chien), mais aux détriments des espèces sauvages herbivores (le lemming, le lapin, le castor) ou carnivores (le loup, l'ours, le renard), qui occupaient cet espace-temps de survie bien avant lui, l'homme tente de réaliser une association "gagnant-gagnant" à 3 (l'homme, le renne, le chien) contre tous les autres acteurs de l'écosystème. Pour cela, par exemple, il tente d'exterminer les loups. Ce faisant il entraîne un déséquilibre des interactions trophiques, des relations mangé(s)-mangeur(s) dans l'écosystème forestier boréal (où l'on est beaucoup plus que 3 !). Les proies, herbivores et rongeurs, qui ne sont plus chassées et consommées par les loups, prolifèrent et entrent en compétition avec les rennes qui consomment la même nourriture, comme les lichens, seule nourriture disponible en hiver. Ce qui met en danger la survie de l'homme et de ses animaux domestiques. C'est l'arroseur arrosé ! Seuls contre tout l'ensemble des espèces sauvages, l'homme et ses animaux domestiques sont en grand danger de non-survie. **Survivre c'est d'abord manger**.

En 1995, 14 loups ont été rendus à l'état sauvage dans le parc national de Yellowstone aux Etats Unis. Auparavant et pendant 70 ans il n'y avait plus eu de loups et les populations de daims³ avaient proliféré, causant de sévères dommages à la flore, et sans qu'on puisse réguler l'effectif de cette espèce. Si peu de loups ont suffi à contrôler le comportement des daims qui, par peur d'être mangés, ont augmenté leur vigilance et réduit leur espace de pâturage. La végétation, moins consommée, a recolonisé les espaces délaissés par les daims. En 6 ans la densité des arbres a été multipliée par 5. Les castors qui avaient disparu se sont réinstallés et ont construit des barrages, endiguant des nappes d'eau où des rats musqués, des canards et des poissons ont proliféré. Les lièvres et les souris ont proliféré ce qui a attiré des rapaces, des putois et des renards. Capables de faire face aux loups, des ours se sont installés. 20 ans après, par leur présence et leurs activités, directement et indirectement, les loups avaient remodelé l'écosystème. Même le cours des rivières avait changé. Avec la prolifération des plantes herbacées et arbustives, les rives s'étaient stabilisées et consolidées. L'érosion fluviale avait diminué. Les loups avaient, **par leur capacité d'être accueilli, augmenté la capacité d'accueil de l'écosystème global et la biodiversité** (Smith et al. 2023).

1-b. Un recyclage durable, car soutenable et soutenu, par des partenaires indissociables.

Au sein d'une cellule végétale, d'une des plantes mangées par le renne par exemple, on observe des compartiments verts, mobiles, semi-autonomes, capables de croissance en masse et de division, les chloroplastes et des compartiments plus petits, plus nombreux, mobiles, semi-autonomes, capables de fusion et de fission, de croissance en nombre, les mitochondries. Ensembles, au sein du hyaloplasme cellulaire, ils forment un écosystème de relations trophiques. Les chloroplastes, producteurs de sucres (puis de lipides), les fabriquent à partir de l'eau, du gaz carbonique et de la lumière, dont ils se nourrissent, et rejettent un déchet hautement destructeur pour la matière organique, l'oxygène. Les mitochondries, consommatrices de sucres (et de lipides), se nourrissent de ce déchet toxique et redonnent comme déchets inoffensifs de l'eau et du gaz carbonique. **Les aliments des uns sont les déchets des autres et réciproquement** (figure 4a). Pour que l'un survive, chloroplaste ou mitochondrie, il faut d'abord que l'autre, mitochondrie ou chloroplaste, survive.

Pour éliminer l'eau oxygénée, toxique, produite par le fonctionnement des chloroplastes et des mitochondries, **un autre partenaire est nécessaire**, le peroxysoxe, qui aussi recycle comme déchet de l'eau.

1 Le chien (*Canis lupus familiaris*) a été domestiqué il y a au moins 35000 ans, probablement en Russie.

2 Le renne (*Rangifer tarandus*) a été domestiqué il y a seulement 5000 ans en Eurasie.

3 Le daim est à la forêt tempérée ce que le renne est à la forêt boréale ; ils occupent la même "niche écologique".

Quelles modélisations pour le corps social ?

Ce n'est PAS une association "gagnant-gagnant", à bénéfices mutuels, car tout ce qui est un avantage pour l'un des partenaires est un inconvénient pour un autre et réciproquement (Bricage 2000a, 2000b, 2000c). Pour que l'ensemble, la cellule, survive, il faut que le compartiment hyaloplasmique, qui héberge tous les autres survive d'abord. L'ensemble des partenaires, hyaloplasme, chloroplastes, mitochondries, peroxyosomes, forment un TOUT indissociable, un système de recyclage des déchets en aliments, assurant la survie du TOUT : une survie durable grâce à une **économie circulaire soutenable pour chaque partenaire et soutenue par chaque partenaire**, le Tout étant un partenaire comme un autre (Bricage 2001d, 2002c).

Si gains il y a, gains de matière, de structures ou de fonctions, LE seul gagnant c'est LE TOUT.

Pour que chacun survive, quel que soit le partenaire, il faut que TOUS LES AUTRES partenaires ET LE TOUT survivent et réciproquement. La croissance, localement pour chaque partenaire semi-autonome, et globalement pour le tout, n'est durable que parce qu'elle est soutenable pour chacun des partenaires, semi-autonomes, et le tout, et soutenue par chaque partenaire et le tout (Bricage 2008, 2010a).

Tout **gain de fonction** local d'un SOUS-SYSTÈME n'est conservé que s'il améliore la survie du SYSTÈME global sans empêcher la survie des autres SOUS-SYSTÈMES, semi-autonomes (Bricage 2005b).

1-c. EndoPhysioTope et EcoExoTope, capacité d'accueil et capacité d'être accueilli (figure 2a).

Au sein d'une forêt tempérée, comme le bois de Pau, au printemps, au moment où les bourgeons foliaires débourent, l'espace-temps-action de survie est occupé par des proies, les arbres feuillus, et des ravageurs, les chenilles de lépidoptères, qui mangent les feuilles des arbres. La diversité des espèces de l'écosystème forestier et la densité des espèces de ravageurs dépendent de la biodiversité quantitative des espèces de feuillus, et, réciproquement, la survie des feuillus dépend du degré d'attaque des ravageurs. Survivre c'est **manger, assez mais pas trop...** Pour que le ravageur survive il faut d'abord que sa proie survive. La meilleure survie des proies nécessite une biodiversité suffisante, mais pas trop élevée. **La survie des uns et des autres n'est possible que dans certaines limites** (figure 3a) (Bricage et al. 1989).

Les chenilles de lépidoptères qui mangent les feuilles sont elles-mêmes mangées par des oiseaux ou des reptiles, voire par d'autres chenilles. **Tôt ou tard, il est impossible de ne pas être mangé.**

Le rendement (la croissance en masse) des grandes cultures industrielles, comme celles de la betterave, du blé, de la luzerne ou de la pomme de terre, est limité(e) par la capacité d'accueil de l'écoexotope de survie, comme le pH du sol. L'endophysiotope de chaque espèce cultivable possède une capacité d'être accueilli différente de celles des autres espèces, ce qui lui permet d'occuper préférentiellement un écoexotope d'accueil suffisamment différent de celui des autres espèces, limitant ainsi la compétition éventuelle : **une place pour chacun, chacun à sa place.**

Tout SYSTÈME vivant, quel que soit son niveau d'organisation, peut être défini par son écoexotope de survie qui lui fournit une **capacité d'accueil suffisante**, si, et seulement si, son endophysiotope possède une **capacité d'être accueilli soutenable** pour l'écoexotope et tous les acteurs qui partagent ce même écoexotope de survie (figures 2a3 et 2b2).

2. Emergence d'une Association à Avantages et Inconvénients Réciproques et Partagés : quels partenaires ?, quand ?, comment ?, pour quoi ?

Dans toute relation prédateur-proie, les effectifs, de la population de la proie et de la population du prédateur, évoluent en suivant **un équilibre dynamique** (figures 2c2 et 3a2) tel que la capacité d'accueil fournie par la proie ne descend jamais en-dessous d'une valeur minimale et la capacité d'être accueilli du prédateur évolue simultanément pour ne jamais descendre en-dessous d'une capacité d'être accueilli minimale (figure 3a3). Hors de ces limites, sans cette limitation réciproque, les deux risquent de disparaître.

2-a. La symbiose lichénique n'est PAS une association à bénéfices mutuels.

Les lichens sont la seule nourriture qui permette la survie des rennes pendant l'hiver boréal. Ils sont mangés. Les lichens présentent une diversité morphologique et fonctionnelle considérable, d'espèces terrestres, capables de survivre et de se survivre là où aucune autre espèce végétale ou animale le peut.

Quelles modélisations pour le corps social ?

Capables de s'installer sur des terres vierges, voire des rochers nus ou des rails d'autoroutes, les lichens sont des organismes **pionniers**. Pourquoi possèdent-ils un tel avantage ?

Qu'est-ce qu'un lichen ?

Toute espèce actuelle de lichen est l'association d'une ancienne espèce d'un champignon, aujourd'hui disparue, mais dont des espèces cousines subsistent encore, et d'une population d'une ancienne espèce d'algue verte, aujourd'hui disparue, mais dont des espèces cousines subsistent encore.⁴ L'endophysiote du champignon fournit à l'endophysiote de l'algue un écoexotope avec une capacité d'accueil en adéquation avec la survie à la fois de l'algue, du champignon et du lichen. Les deux partenaires, algue et champignon, qui, autrefois, co-existaient séparément, à l'état libre, ne forment plus qu'un **tout solidaire**. Les partenaires sont indissociables, ils ne peuvent plus survivre indépendamment l'un de l'autre ; séparés, l'algue et le champignon meurent ; la destruction de l'algue ou du champignon entraîne la mort du lichen. Cette association est habituellement présentée comme une association "mutualiste" à bénéfices réciproques, "gagnant-gagnant". Ce qui n'est pas du tout le cas (Bricage 1898, 2000b, 2010b, 2014d).

Car, si on observe attentivement la structure fonctionnelle d'un lichen, tôt ou tard, on constate que des filaments du corps du champignon "accueillant" empoignent et mangent des cellules de la population d'algue "accueillie" (Bricage 1988, 2010b).

C'est en fait une association à avantages et inconvénients réciproques et partagés.⁵ **Tout ce qui est un avantage pour un partenaire est un inconvénient pour l'autre et réciproquement.** Le champignon fournit à l'algue un écoexotope de survie en détournant une partie de sa matière et de son énergie au profit de la survie de l'algue. La mobilisation de matière et d'énergie **nécessaire à l'accueil** de l'algue est un **coût payé sur la croissance en masse** du champignon. En contre-partie de l'accueil (le gîte et le couvert : l'alimentation en eau et en substances dissoutes et en dioxyde de carbone), la consommation de cellules d'algues représente un **coût payé sur la croissance en nombre** de la population d'algues, **pour être accueillie**. Si bénéfice il y a, en terme de croissance en masse, et de survie, il n'est que pour le tout, le lichen. **Pour que le TOUT survive, il faut que chaque partenaire survive d'abord, et réciproquement.**

En conséquence, "contrainte", la croissance en masse des lichens est "forcément" très lente.

2-b. Il n'ya jamais d'avantages sans inconvénients (Bricage 1988, 1991).

L'avantage "éco-physiologique" de ce type d'association, algue (proie productrice de matière organique à partir de l'énergie solaire) et champignon (prédateur, mais spécialisé dans l'alimentation minérale), est énorme, il permet aux lichens d'être des "végétaux" pionniers, colonisateurs potentiels de tout écoexotope libre d'autres formes de vie. Cet avantage énorme est payé d'un coût énorme, outre la faible croissance en masse, tôt ou tard, seule source de matière et d'énergie disponible, les lichens sont mangés par d'autres formes de vie auxquelles ils fournissent une capacité d'accueil. Ce sont des **espèces "clé-de-voûte"** qui permettent la mise en place d'écosystèmes complexes. Sans eux ces nouveaux écosystèmes n'existent pas ou disparaissent (Bricage 2011a, 2011b, 2016).

Tout lichen est **à la fois un organisme nouveau, émergent, et un écosystème, un système-de-systèmes**, contenant une chaîne alimentaire (un réseau trophique), avec l'algue, système auto-photo-trophe, "producteur", et le champignon, système hétéro-trophe, "consommateur".

Pour survivre, et se survivre, tout en étant mangés, les lichens possèdent **des capacités fonctionnelles nouvelles, émergentes, qu'aucun des partenaires libres ne possédaient avant**, comme la synthèse d'acides lichéniques qui libérés permettent aux lichens de dissoudre la roche.

Ce qui est vrai pour les lichens l'est-il pour tous les types d'interactions entre producteurs et consommateurs ?

Comment se met en place ce type d'association (ARMSADA) ?

⁴ D'autres partenaires peuvent être présents : une population d'une espèce de levure et une population d'une espèce de bactérie.

⁵ "association à avantages et inconvénients réciproques et partagés" <http://armsada.eu>
"Association for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and DisAdvantages" ou ARMSADA

Quelles modélisations pour le corps social ?

2-c. Evolution “convergente” vers l'émergence, tôt ou tard, de ce type d'associations ? (figure 3b)
Les bactéries, phototrophes ou hétérotrophes, sont des proies pour des virus dits bactériophages.

2-c-1. L'intégration de virus devenus “éternels”...

A la suite de l'entrée de l'endophysiotope du virus-“prédateur” dans l'endophysiotope de la bactérie-“proie”, écoexotopie de survie du phage actif, la bactérie est consommée pour produire une population de virus. A l'issue du cycle de développement viral intra-bactérien, la bactérie est lysée et libère une population de phage infectieux.⁶ Et le cycle recommence tant qu'existent des bactéries disponibles.

Parfois, mais rarement, certaines bactéries portant des marqueurs de la présence interne du phage ne sont pas détruites. Dans ce cas on constate que le génome du virus est “installé” en parallèle, à côté, du génome bactérien. Les deux génomes co-existent séparément dans le même tout, et les deux génomes sont transmis ensemble à une partie de la lignée bactérienne, sans qu'il y ait de lyse bactérienne et de production de virus. Ce phage “non lytique” est dit “défectif”. Dans certaines situations, encore plus rares, le génome du phage défectif est intégré au génome bactérien, **les deux ne font plus qu'un**. Cette recombinaison génétique permet au virus de **changer d'espace-temps-action** (Bricage 2002b, 2003, 2014c).

Tant que la bactérie survit, les deux survivent solidairement. L'endophysiotope du virus survit, et se survit, dans l'endophysiotope bactérien, “éternellement” présent et actif, sans plus de phase de vie virale libre, de résistance à l'état de vie suspendue. En outre, par sa présence, le phage rend la bactérie qui l'héberge résistante aux bactériophages de sa même espèce, tout en apportant des informations génétiques, absentes de la bactérie parente initiale, et qui peuvent conférer au nouveau tout des meilleures capacités de survie.⁷

Des radiations, des agents mutagènes et des substances toxiques, délétères pour la survie du nouveau tout peuvent endommager le génome de l'un ou l'autre des partenaires. Si le compartiment bactérien d'accueil est lésé le phage reprend sa liberté. Tout ce qui altère la survie du tout, bactérie-virus, entraîne la libération du bactériophage. Le partenaire encore viable reprend sa liberté quand sa survie est menacée.⁸

2-c-2. L'internalisation de bactéries devenues “éternelles”...

L'intégration de bactéries ancêtres des mitochondries, initialement des prédateurs des ancêtres anaérobies des cellules actuelles, a permis, tôt ou tard, l'émergence d'un nouveau type cellulaire aérobie, qui est de la même façon une ARMSADA où **le prédateur et la proie ne font plus qu'un tout indissociable** (figure 3) (Bricage 2005a, 2008). En outre, l'intégration intra-cellulaire des mitochondries les a, pour un temps, protégées des phages qui les infectaient quand elles étaient à l'état libre. Mais, tôt ou tard, ces phages ont évolué et leurs descendants sont devenus capables d'accéder aux compartiments bactériens mitochondriaux au sein des cellules actuelles.⁹

Au cours de l'évolution, **pour s'échapper de la course aux armements prédateur-proie, tôt ou tard, et sans cesse**, seule la mise en place d'une ARMSADA permet l'émergence de nouveaux plans d'organisation, de **nouveaux espace-temps-action** et des **gains de fonctions nouvelles**, pour survivre et se survivre encore et encore (figure 4). Mais, pour qu'une nouvelle ARMSADA émerge, pour que l'un et l'autre survivent ensemble dans un nouveau tout, il faut d'abord que l'un et l'autre perdent simultanément la capacité de détruire l'autre. **Pour que l'un survive il faut d'abord que l'autre survive et réciproquement.**

6 C'est exactement **la même chose pour nos cellules, qui sont infectées puis lysées pour produire une population de virus infectants**, avec les virus infectieux de la grippe, du SARS-CoV-2 (Bricage 2020) ou du SIDA (Bricage 2005a).

7 De la même façon, dans le génome de toute cellule, les nôtres y compris, sont hébergées une multitude d'espèces de virus **anciens, autrefois libres et infectants**, dont la présence rend ces cellules résistantes aux virus actuels de la même lignée évolutive virale (Bricage 2008, 2010a) et permet l'émergence de nouvelles potentialités de survie, d'adaptation et d'évolution.

8 De la même façon, **une cellule cancéreuse est une cellule qui aurait dû mourir et qui a survécu**, grâce à la libération de l'expression d'un virus endogène (“constrained dangers”, figure 1c). L'expression virale entraîne la survie et la multiplication de la cellule et du virus, qui survit et se survit tant que la cellule cancéreuse survit et se survit, sans lyse virale (Bricage 2008).

9 Les cellules eucaryotes actuelles (niveau *i*) ont **des ancêtres de type monères, autrefois à l'état libre et aujourd'hui disparus**, dont les descendants, cousins actuels (niveau *i-1*), sont les archéobactéries et bactéries actuelles. Autrefois compartiments bactériens à l'état libre, les compartiments cellulaires actuels, hyaloplasme, mitochondries, peroxyosomes, plastes et noyau, ont tous des prédateurs viraux spécifiques (Bricage 2005a, 2005b; Ahlquist 2006; Lazarow 2011).

3. Maintien, évolution et rupture de ce type d'associations.

Les outils de la biologie moléculaire ont permis de retracer génétiquement l'origine et l'évolution des lignées mitochondriales ou plastidiales, depuis leurs ancêtres présumés jusqu'à aujourd'hui.

Les chloroplastes, comme les mitochondries sont des organites **semi-autonomes**, ils survivent et se survivent au sein de leur cellule hôte. L'endophysiotope de la cellule est l'écoexotope de survie des endophysiotes des mitochondries et chloroplastes, qui y sont accueillis. Ce type d'association a été appelé symbiose. Mais ce n'est **PAS une association "gagnant-gagnant"**.¹⁰ Ce type d'association, **qui permet de s'évader du jeu « à qui perd, gagne »** (Bricage 2014d), déterminé par les limitations de la relation prédateur-proie, est une association à avantages et inconvénients réciproques et partagés (ARMSADA). **Tout ce qui est un avantage pour un partenaire** (un sous-système ou le tout) **est un inconvénient pour un autre** partenaire (le tout ou un autre sous-système) **et réciproquement**. Il n'y a de bénéfices, de gain (de matière, d'énergie, de structure, de fonctionnalité) que pour le TOUT (le système des sous-systèmes), dont **la survie est durable tant qu'elle est soutenue et soutenable par les différents partenaires et leur tout**. En dehors d'une ARMSADA pas de salut évolutif (Bricage 2011a, 2011b), ni de saut évolutif (Bricage 2002b).

A long terme, seules survivent et se survivent les associations ayant mis en place ce type d'interactions structurales et fonctionnelles (Bricage 2014c).

3-a. Unis "pour le meilleur et pour le pire".

La lyse des mitochondries (l'un des partenaires) dans la cellule, par des virus ou des toxiques, comme des antibiotiques anti-bactériens, des métaux lourds ou des radiations, induit la mort de la cellule (le tout).

La lyse de la cellule, par apoptose, sans lyse des mitochondries permet aux mitochondries, qui reprennent temporairement une semi-liberté, de persister, en étant, si elles sont en bon état physiologique, réintégrées dans d'autres cellules. Sinon elles sont détruites. Elles possèdent elles-mêmes un comportement infectieux, **héritage conservé** de leur ancêtre bactérien.

A une autre échelle, et à un autre degré d'organisation, les interactions comportementales entre les mitochondries accueillies et la cellule accueillante sont de même nature (convergence évolutive) que celles entre virus défectif accueilli et bactérie accueillante. **Les mêmes causes produisent les mêmes effets**.

L'apoptose, ou suicide cellulaire, programmé dans l'endophysiotope de la cellule (*niveau d'organisation i*) ou induit par des altérations de l'écoexotope, est un mécanisme de protection de l'organisme (multicellulaire, *niveau i+1*) qui contrôle son ontogénèse et sa survie. Le défaut d'apoptose programmée, ou l'excès d'apoptose non programmé, peuvent entraîner des anomalies morphologiques et physiologiques, au niveau cellulaire (cellule devenue cancéreuse), au niveau tissulaire (tumeur, maladie auto-immune) et au niveau de l'organisme (structures surnuméraires). L'apoptose en excès peut entraîner la non-mise en place ou la disparition de populations cellulaires indispensables à la survie du tout (cellules et organisme). Le manque d'apoptose, ou sa suppression, peut entraîner la conservation, voire la prolifération de populations de cellules et de structures qui auraient dû disparaître et altérer les étapes ultérieures du développement, voire obérer la survie du TOUT (Bricage 2008). Et, pour se survivre, il faut préalablement survivre.

3-b. La résilience dépend d'une fuite en avant !

Les extinctions de masse qui ont marqué et orienté l'histoire "naturelle" des systèmes vivants terrestres ont permis la mise en place de nouvelles ARMSADAs, **par juxtaposition et emboîtements** (figure 2b1) d'anciennes ARMSADAs, qui ont disparu ou dont des descendants existent toujours (Bricage 2005b).

Tôt ou tard, tout système vivant est "testé" par des événements délétères dont la nocivité ne permet que la survie d'anciennes ARMSADAs ou/et l'émergence de nouvelles, avec de nouveaux plans d'organisation et de nouveaux types d'interactions entre écoexotope et endophysiotope (figure 3a).

¹⁰ **symbiose** : L'Encyclopédie de l'Écologie. <http://www.lagrandepoubelle.com/wikibis/ecologie/symbiose.php>
https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Agriculture/articles-Wikipedia/Symbiose_Wikipedia-Fr.pdf

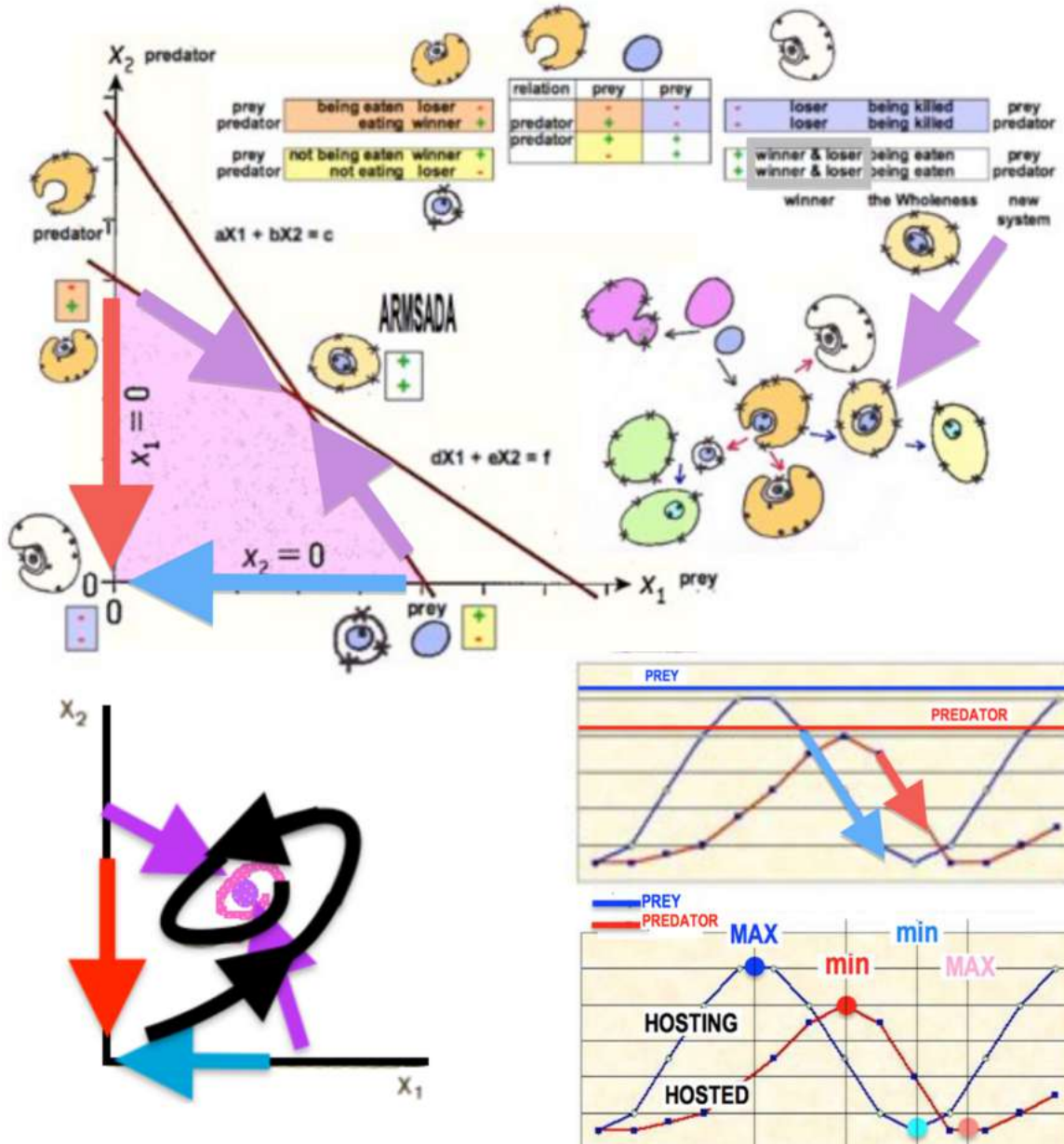
Quelles modélisations pour le corps social ?

Figure 3 From predator-prey interactions to ARMSADA: **the emergence of an ARMSADA.**
(Adapted from Bricage 2000b, 2000c, 2003, 2011a, CC-licence)

Figure 3a The simplex model representation (Bricage 2005b, 2013, CC-Licence).

3a1- **Why emergence?, because... emergency!**

To survive the predator X2 must eat preys X1. The extinction of the prey (blue arrow) leads to the extinction (X2=0) of the predator (red arrow). The survival of both species (X1 and X2) is depending on interactive oscillations of numbers (figure 3a3). To merge into an ARMSADA (purple arrows) allows to escape the emergency situations of death risk for the predator (X2=0) and the prey (X1=0).



3a2- **Oscillation towards and attraction point.**

Sooner or later, either the prey disappears and the predator disappears too (biodiversity= -2), or only the predator (biodiversity = -1), or both survive into an ARMSADA (biodiversity= +1). Timeless the predator-prey curve is turning around a point of attraction until merging into a **new blueprint** (purple point) **Between "mimesis" (order) and "hubrys" (chaos), life oscillates around a balanced in-between state point.**

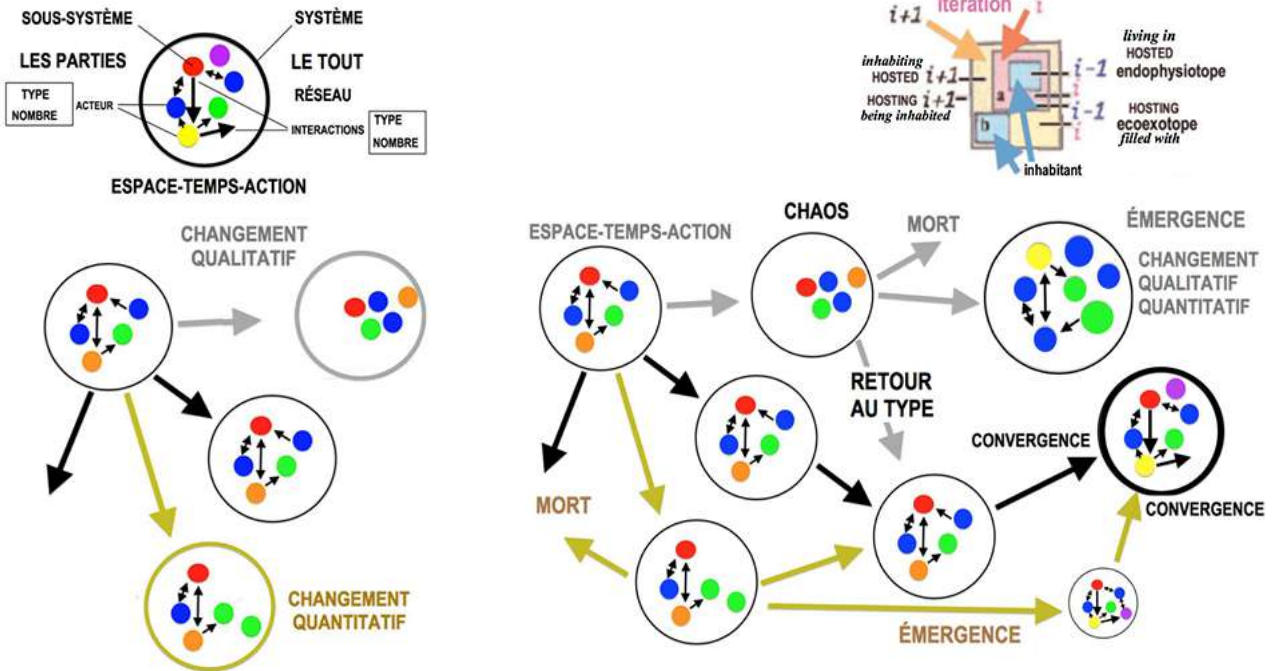
3a3- **Limitations of the HOSTING capacity of the PREY and the capacity TO BE HOSTED of the PREDATOR.**

Hosting by the prey is limited and must be above a **minimum**. The predator population must never exceed a maximum, where its HOSTED is at its minimum **min**, and its HOSTED is at its maximum **MAX** when the predator population is near extinction.

Quelles modélisations pour le corps social ?

Figure 3b **Convergence: "walking is constructing the way"**.

3b1- Les PARTIES et le TOUT d'un système-de-systèmes forment un réseau d'interactions, défini par le nombre des types d'acteurs et le nombre des types d'interactions, qui forment l'ESPACE-TEMPS-ACTION, du TOUT et des PARTIES, indissociables.



3b2- Tout changement, qualitatif (du type) ou quantitatif (du nombre), des acteurs ou interactions, peut entraîner la mort ou le chaos, sauf résilience et retour à l'équilibre initial.

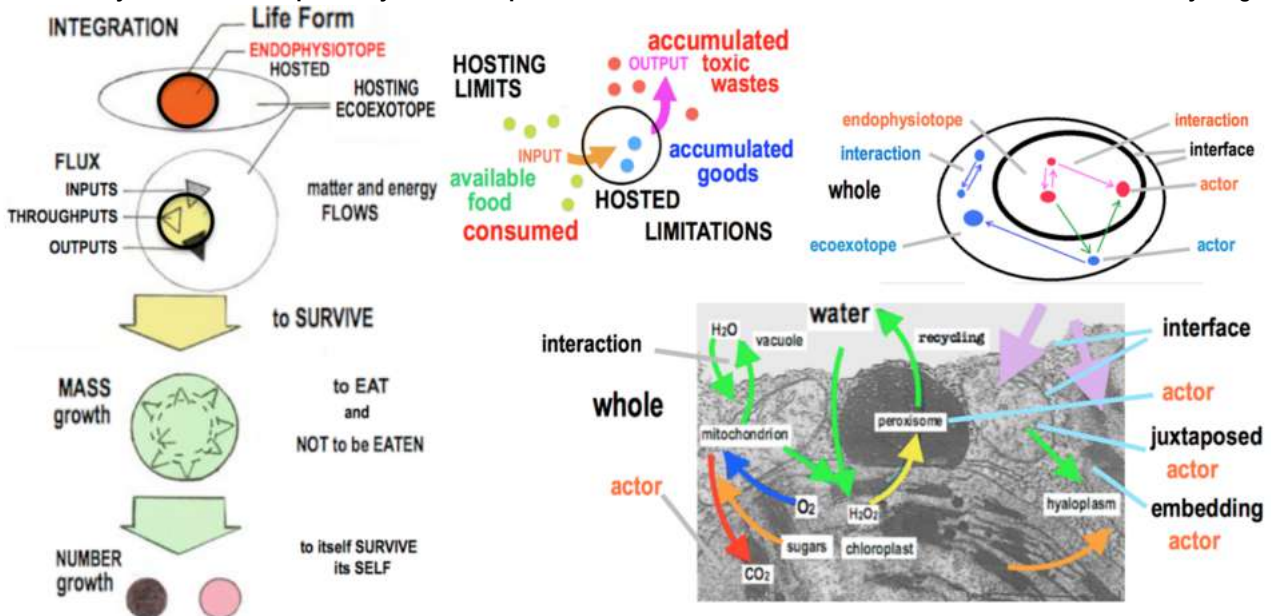
3b3- La situation d'urgence vitale peut permettre l'apparition d'un nouvel état d'équilibre (émergence), d'un nouveau réseau d'acteurs et d'interactions, par percolation (figure 4b).

Figure 3c Mass growth: limits and limitations.

3c1- every life form development cycle

3c2- problem: matter flows limits

3c3- solution: matter flows recycling



The balance between MASS GROWTH and NUMBER GROWTH (figure 2c) of every life cycle (3c1) is a TAKE-MAKE-WASTE (figure 4a) FLOW (3c2) which is controlled (3c3) both by the HOSTING CAPACITY LIMITS of the ecoexotope, where food is decreasing and wastes are increasing too, and the CAPACITY TO BE HOSTED LIMITATIONS of the endophysiotope, where INPUT are necessary for growth. There are never advantages without disadvantages. To survive that is to avoid advantages (food) turn to disadvantages (wastes), to turn disadvantages to advantages, to share advantages and disadvantages (Bonfante & Genre 2010).

Figure 4 Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and DisAdvantages ARMSADA
(Adapted from Bricage 2000b, 2001b, 2002c, 2010, 2019, CC-licence)

Figure 4a- A plant cell is an ecosystem of ecosystems (Bricage 1991, 2010a).

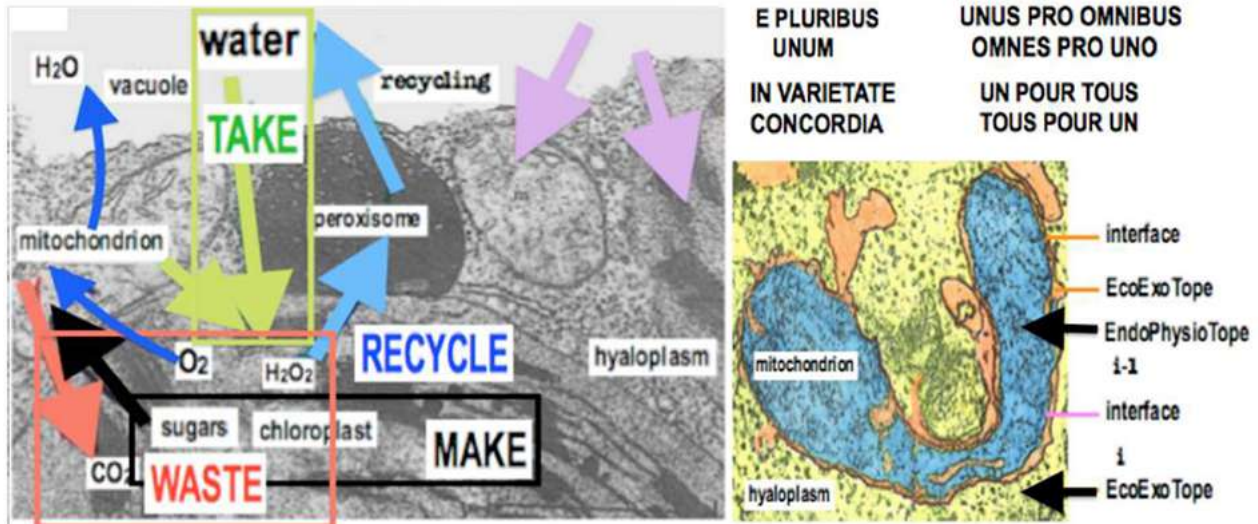


Figure 4b- Emergence of a new network of sharing ancient and new advantages and disadvantages.

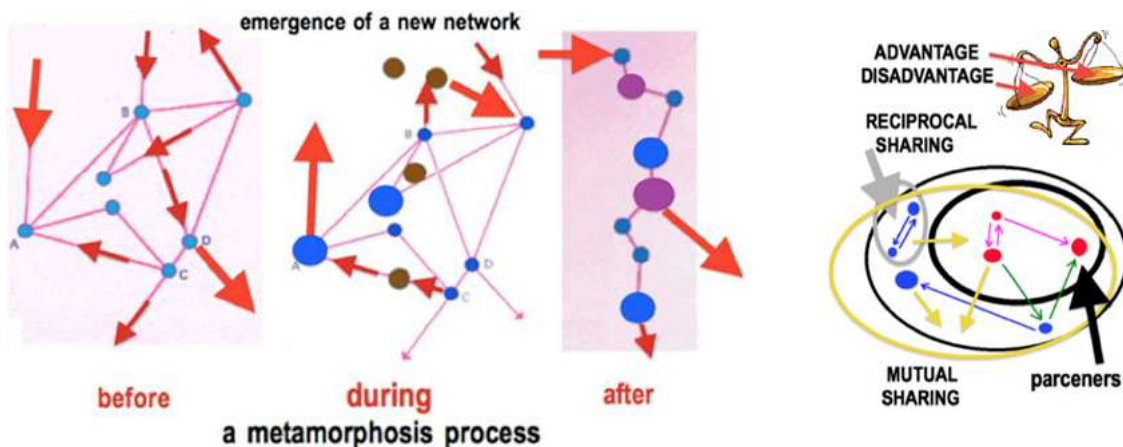


Figure 4c- "walking is constructing the way": 5 mutually necessary processes (Bricage 1991, 2013).

5 principes organisateurs d'émergence

- principe de **maintien** (*invariance des fonctionnalités*) : degrés de liberté
 - 7 caractéristiques mutuellement nécessaires et suffisantes pour **survivre et se survivre**,
- principe **moteur d'évolution** (*obligation organique*) : appartenance à une chaîne alimentaire
 - "manger et ne pas être mangé", "tôt ou tard il est impossible de ne pas être mangé",
- principe de **structuration**: *organisation modulaire (modularité)*
 - par emboîtements et juxtapositions de modules pré-existants,
- principe de **phylogénie** (*escalade de la complexité*) :
 - seules survivent et se survivent les
 - associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés (ARMSADA)
- principe d'**ontogénie** : *invariance d'échelle (homothétie fractale)*
 - loi de puissance reliant l'espace et le temps (analogue à la 3ème loi de Kepler)

Quelles modélisations pour le corps social ?

Les plans d'organisation des endophysiotes des organismes fossiles du Cambrien sont très différents de ceux des organismes fossiles de l'Ediacarien qui n'ont pas survécu à **une extinction de masse qui a libéré des écoexotopes anciennement occupés pour y accueillir de nouveaux occupants**. La date d'extinction est celle d'une métamorphose terrestre globale : d'anciens organismes disparaissent, de nouveaux apparaissent et seuls d'anciens organismes remaniés peuvent **passer l'épreuve de la survie aux causes de l'extinction**. Tous les nouveaux plans d'organisation qui apparaissent ou qui persistent lors de ces épreuves sont des ARMSADAs.

Les coraux qui constituent les récifs marins actuels sont apparus il y a 240 millions d'années, associés à l'extinction du Permien. Les anciens coraux de l'Ordovicien ont tous disparu, à la suite d'un réchauffement climatique. Tout organisme corallien est l'association symbiotique d'un polype¹¹ et d'une population d'algues photosynthétiques marines.¹² Si l'algue meurt, le corail meurt ! Si le polype meurt, l'algue meurt.

Pour que l'un survive il faut d'abord que l'autre survive et réciproquement.

3-c. Un contrat synallagmatique¹³ entre parsonniers¹⁴.

Les lois de survie résultent d'interactions réciproques entre partenaires **capables d'accueillir** et partenaires **capables d'être accueillis, dans certaines limites réciproquement partagées**.

La mise en place d'une ARMSADA résulte toujours d'une co-métamorphose réciproque de chaque partenaire. C'est là la difficulté de sa mise en place au niveau social ou sociétal (Bricage 2005b, 2014a).

Dans le cas de toutes les espèces de légumineuses, la formation de nodules racinaires, possédant la propriété émergente (gain de fonctionnalité) de fixer l'azote atmosphérique, débute toujours par une phase d'invasion par une population d'une bactérie mobile et infectieuse spécifique de la future plante hôte. Attirée par les substances organiques émises par la plante¹⁵, la bactérie pénètre par une blessure au niveau des poils absorbants des racines. Dans l'endophysiote de la plante hôte, la prolifération bactérienne est arrêtée par la formation d'une prolifération cancéreuse contrôlée, le nodule, qui va accueillir l'endophysiote de l'envahisseur bactérien. Au sein du nodule la bactérie a perdu toute mobilité et **son métabolisme est ré-orienté** pour fonctionner dans un écoexotope réducteur (anaérobie), interne à la plante, totalement différent de son écoexotope initial, aérobie, externe à la plante.

Le coût de la formation d'un nodule est énorme pour la plante hôte, mais elle **fait d'une pierre deux coups**. Elle survit à l'invasion de type parasitaire qui peut lui être létale et elle met en place une association nouvelle au bénéfice de la survie du nouveau TOUT.

Le nouveau TOUT¹⁶, pour son ontogénèse et son maintien, obéit à un mécanisme qui contrôle, simultanément et réciproquement, la croissance en masse et la croissance en nombre des nodules, représentable par une loi puissance. Cette relation est typique de la **co-limitation des interactions entre partenaires** partageant un même écoexotope de survie. Le bilan des interactions adaptatives entre les différents partenaires d'un même endophysiote ou d'un même écoexotope est visualisé par **une loi puissance, représentative d'un mécanisme d'ago-antagonisme** (figure 2c) (Bricage 2014e, 2014f).

11 Le polype est la phase fixe, constructrice du squelette corallien, la méduse est la phase libre de l'organisme du corail.

Le polype (aux tentacules dirigés vers le haut) est équivalent à une méduse (aux tentacules dirigés vers le bas) fixée et inversée.

12 Tout comme le lichen, terrestre, est l'association d'un champignon, équivalent au polype, et d'une population d'algues vertes.

Convergence vers une même solution, la mise en place d'une ARMSADA, mais impliquant des partenaires évolutifs différents, et différant par leur écoexotope de survie : coraux et lichens sont à la fois de nouveaux organismes et de nouveaux écosystèmes.

13 **contrat synallagmatique**, du grec : *syn* ensemble, *allag* changement, <https://www.cnrtl.fr/definition/synallagmatique>

14 **parsonniers** en Béarn (Bricage 1993) <http://armsada.eu/ALBA-index.html>

et parsonneries en Morvan <https://montreuilon.eu/fr/anx/histoire-parsonniers.php>

15 Survivre c'est d'abord manger !

16 *"more is different"*, pas seulement ... *"more is always both more and less"*

Le nouveau TOUT est **toujours à la fois plus et moins** que la somme de ses parties ; de nouvelles structures fonctionnelles émergent, d'anciennes disparaissent ou sont remaniées (Bricage 2005a). Le changement de niveau d'organisation, **l'apparition imprévisible d'un nouveau plan d'organisation, résulte toujours de la mise en place d'une ARMSADA** (figure 4b).

Quelles modélisations pour le corps social ?

Conclusion

Quel que soit le niveau d'organisation, bactérie (niveau $i-1$), cellule (niveau i), organisme métacellulaire (niveau $i+1$), écosystème (niveau $i+2$), **la mise en place du nouveau réseau d'interactions** entre les sous-systèmes et le nouveau système obéit à **un mécanisme de "percolation"** (figure 4b).

Tout changement, qualitatif ou quantitatif, de l'espace-temps-action du système aboutit à un déséquilibre du nombre d'acteurs ou du nombre d'interactions (déséquilibre quantitatif) ou du type d'acteurs ou du type d'interactions (changement qualitatif). Soit le système modifié meurt, soit il retourne au type initial, soit un nouvel espace-temps-action émerge avec de nouveaux types d'acteurs et/ou d'interactions, changeant la structure fonctionnelle du système nouveau émergent. La mise en place des structures fonctionnelles est une résilience adaptatrice, qui est à la fois une métamorphose¹⁷ et un processus d'exaptation¹⁸ (figure 3b), au cours duquel sont **"sacrifiés", par tous, les intérêts particuliers qui mettent en péril le bien commun**.

Des chemins différents, de percolation ou de métamorphose, peuvent arriver au même résultat.¹⁹

La structure fractale des systèmes vivants, systèmes de systèmes, formés par emboîtements et juxtapositions de systèmes pré-existants, est **à la fois la cause et la conséquence** de la nécessité de la mise en place de "toujours plus" d'ARMSADAs, car l'écoexotopie de survie de l'endophysiotopie du niveau i est l'endophysiotopie du niveau $i+1$. Le niveau $i+1$ est habité par le niveau i qui accueille le niveau $i-1$ (figure 2b). Pour qu'habités et habitants survivent ensemble, pour que l'association soit soutenable et soutenue, donc durable, seule la mise en place d'une ARMSADA permet la mise en adéquation de la capacité d'être accueilli des endophysiotopes hébergés/habitants avec la capacité d'accueil des écoexotopes habités/accueillants (figures 2c et 3a3). Toute nouvelle ARMSADA émerge par emboîtements et juxtaposition d'ARMSADAs pré-existantes ; ce processus suit donc **une loi de croissance gnomonique**.²⁰

Il n'y a jamais d'avantages sans inconvénients. Survivre c'est transformer les inconvénients en avantages et éviter que les avantages deviennent des inconvénients. Survivre c'est manger et ne pas être mangé. Mais, tôt ou tard, il est impossible de ne pas être mangé. Pour survivre, et surtout se survivre, dans l'espace-temps-action du vivant, il faut **avoir de la chance : être au bon endroit au bon moment avec la bonne compétence** et ne pas être au mauvais endroit au mauvais moment (Bricage 2001a, 2002a, 2010a).

C'est une leçon que l'espèce humaine doit mettre en pratique (Bricage 2005c) si elle veut survivre (Bricage 2011a, 2011b, 2019). La compétition entre espèces²¹ et au sein d'une espèce, pour survivre et se survivre, est un moteur nécessaire de l'évolution et les interactions prédateur-proie accroissent la diversité des écoexotopes potentiels (Condon et al. 2014). Mais ...

17 **métamorphose**, du grec : *meta* transformation, changement, *morpho* de la forme. Toute métamorphose est un ensemble de 3 processus indissociables : un processus de destruction (lyse) d'éléments anciens qui disparaissent, un processus de construction, de mise en place, d'éléments nouveaux qui émergent à partir de précurseurs, et un processus de remaniements d'éléments anciens conservés mais changés dans leur structure fonctionnelle et leur espace-temps-action (Bricage 2005a).

18 **exaptation** : **gain-de-fonction** par transformation d'une structure fonctionnelle ancienne, initialement adaptée à une fonction, pour remplir une toute autre fonction ; exemple : l'adaptation au vol des oiseaux avec la transformation de la structure fonctionnelle des plumes, apparues chez leurs ancêtres reptiliens pour leur thermorégulation (Brusatte 2023).

19 **convergence évolutive** : des endophysiotopes différents, adaptés à des écoexotopes différents, ayant suivi des chemins évolutifs différents, peuvent mettre en place, à partir d'une même structure fonctionnelle ou de structures fonctionnelles différentes, **une même solution adaptative** en réponse à un nouvel même écoexotopie ; **la même cause produit le même effet** sur la même structure fonctionnelle ou sur des structures fonctionnelles différentes (figures 3b1 et 4b).

20 On parle de **croissance gnomonique** quand certains éléments naturels augmentent de taille, changent d'échelle en gardant toujours la même forme. "Un gnomon est quelque chose (un système, ici une ARMSADA) qui ajoutée à quelque chose d'autre (un autre système, une autre ARMSADA), **forme un TOUT semblable à ce à quoi il a été ajouté** (un **système-de systèmes** qui est une nouvelle ARMSADA). Une loi de croissance gnomonique est une loi de croissance arithmétique, continue et infinie. Une telle **auto-organisation évolutive** aboutit à une croissance exponentielle, géométrique, de type fractal (Bricage 2009b). Pourquoi est-elle en relation avec le nombre d'or (Bricage 2019; collectif 2023) ?

21 La compétition entre les espèces d'homininés, pour occuper le même écoexotopie, ou pour détourner au profit d'une espèce, aux dépens de toutes les autres, la capacité d'accueil de l'écoexotopie, est à l'origine de la disparition de toutes les espèces humaines, en partie exterminées par la nôtre (Woods & Williams 2023), qui seule persiste, pour l'instant ...

Quelles modélisations pour le corps social ?

MAIS, tôt ou tard, **quels que soient les gains-de-fonctions apparus** grâce aux interactions destructives et à l'ago-antagonisme entre espèces ou entre individus (Bricage 2011a, 2011b, 2014d, 2016), seule la mise en place et le maintien d'associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés (figures 3 et 4) permet **d'abord d'éviter l'extinction** (Bricage 2014b, 2014c), puis d'aller plus loin dans l'émergence de nouveaux endophysiotoxes et écoexotoxes (Bricage 2014e, 2014f, 2014g) et d'augmenter l'emprise et la biomasse de la vie (Hatton et al. 2015; Tekwa et al. 2023).

La mise en place, le maintien et la destruction d'une ARMSADA sont des processus "démocratiques"²² car **les décisions sont prises par et pour tous les acteurs, les parties et le tout** connaissant eux-mêmes les raisons de leurs décisions, et où chaque acteur est à la fois sujet et souverain. La gouvernance des systèmes vivants est donc à la fois ce qu'il y a de plus "dynamiquement" inerte (régulations d'équilibres et capacité à surmonter les chocs traumatiques : résilience) et de plus **révolutionnaire** (mort ou saut évolutif).

références

- Ahlquist P. (2006) Parallels among positive-strand RNA viruses, reverse-transcribing viruses and double-stranded RNA viruses. *Nature Reviews Microbiology* 4: 371-382.
- Bernard-Weil E. & P. Bricage (2005) Atelier Systèmes Ago-Antagonistes. In *La Gouvernance dans les Systèmes.*, **UES-EUS Congress**, Paris, France, 4 p., **CC-License**, <http://afscet.asso.fr/6ESSC/Workshop01.pdf>
- Bonfante P. & A. Genre (2010) Mechanisms underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature Communications* 1, 48. <https://doi.org/10.1038/ncomms1046>
- Bricage P. (1975) Quelques aspects d'une maladie endémique : la lèpre. *Bull. A.A.S.N.S, Dakar*, 51: 5-12.
- Bricage P. (1988) La Survie des Systèmes Vivants., **Atelier MCX**, fondateur de **MCX20** *Prendre soin de l'homme*, Centre Hospitalier Général de Pau, 3 p.
- Bricage P. (1991) *Les Caractéristiques des Organismes Vivants*. Presses Fac. Sci., Univ. Pau, 44 p.
- Bricage P. (1993) "Au même pot au même feu" *Las Claveries*. *Bull. Association ALBA* 1 : 5-8.
<http://armsada.eu/ALBA/bulletinsALBA/bullALBA01p0508.PDF>
- Bricage P. (2000a) La Survie des Organismes Vivants. **Atelier AFSCET Systémique & Biologie**, Fac. Médecine St Pères, Paris, 44 p. <http://www.afscet.asso.fr/SURVIVRE.pdf>
- Bricage P. (2000b) La nature de la violence dans la nature : déterminismes écophysiologique et génétique de l'adaptation aux changements dans les écosystèmes végétaux. **Colloque AFSCET**, Andé, *La Violence.*, 7 p. <http://www.afscet.asso.fr/ViolencePB.html>
- Bricage P. (2000c) Systèmes biologiques : le "jeu" de la croissance et de la survie. Quelles règles ? Quelles décisions ? Quels bilans ? **Atelier AFSCET**, Paris, Institut International d'Administration Publique, *La décision systémique : du biologique au social.*, 6 p. <http://www.afscet.asso.fr/JdVie1.pdf>
- Bricage P. (2001a) La nature de la décision dans la nature ? Systèmes biologiques : production, consommation, croissance et survie. Quelles règles ? Quels degrés d'exigence ? Quels bilans ? **Journées AFSCET**, Andé, *La décision systémique : du biologique au social.*, 16 p. <http://www.afscet.asso.fr/Decision.pdf>
- Bricage P. (2001b) A new evolutionary paradigm : the Associations for the Mutual Sharing of Advantages and of Disadvantages., In *The creation of a sustainable society depends on Innovative Systems Thinking*. 100th Anniversary of Karl Ludwig von Bertalanffy's **EMCSR** International Conference on Systems Thinking "Unity through Diversity", Vienna, Austria, 1 p.
- Bricage P. (2001c) Les caractéristiques du vivant biologique et sociétal ? Pour survivre et se survivre, la vie est d'abord un flux, ergodique, fractal et contingent, vers des macro-états organisés de micro-états, à la suite de brisures de symétrie. **Atelier AFSCET, Systémique & Biologie**, Institut International d'Administration Publique (ENA), Paris, 11 p., <http://www.afscet.asso.fr/ergodiqW.pdf>
- Bricage P. (2001d) En quoi un organisme est-il une association ? En quoi une association est-elle un organisme ? Un exemple d'intégration: les associations à avantages et inconvénients partagés. **Journée MAAIF-Carrefour des Associations**, Centenaire Associations Loi 1901. *Du biologique au social*. Biarritz, France, 18 p. <https://www.researchgate.net/publication/283849758>

22 La démocratie n'est pas un régime où le pouvoir émane du peuple, mais un régime où le peuple, "supposé vertueux" (Montesquieu), assure la gouvernance (Carsin 2016), **par lui-même et pour lui-même, pour le meilleur et pour le pire** (Bricage 2005c, 2014a).

Quelles modélisations pour le corps social ?

Bricage P. (2002a) Héritage génétique, héritage épigénétique et héritage environnemental : de la bactérie à l'homme, le transformisme, une systémique du vivant. **Journées AFSCET**, Andé, Evolution du vivant et du social : analogies et différences., 28 p. <http://afscet.asso.fr/Ande02/heritage.pdf>

Bricage P. (2002b) The Evolutionary "Shuttle" of the Living Systems. **UES-EUS Congress**, Hersonissos, Greece, Res. Systemica 2: 6 p. <http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Crete02/Bricage.pdf>

Bricage P. (2002c) Only sustainable development can ensure both care of the environment and intra-generational equity. In **Global Ethics for a Humane World**, 2.5. Environmental care, intra-generational equity, inter-generational justice, good governance leading to solidarity and equity., 1 p. <http://fsw.kub.nl/globus/conference>

Bricage P. (2003) Organisation, intégration et espace-temps des systèmes vivants. **Journées AFSCET**, Andé, Intégration dans les systèmes biologiques, sociaux, techniques et culturels., 31 p. <http://afscet.asso.fr/Ande03/pbAnde03.pdf>

Bricage P. (2005a) The metamorphoses of the living systems. **UES-EUS Congress**, Paris, France, Res Systemica 5: 26, 10 p. <http://www.res-systemica.org/afscet/resSystemica/Paris05/bricage.pdf>

Bricage P. (2005b) The Cell originated through Successive Outbreaks of Networking and Homing into Associations for the Mutual and Reciprocal Sharing of Advantages and of Disadvantages (ARMSADA) between the Partners with a Benefit only for their Wholeness. **UES-EUS Congress**, Paris, France, Res Systemica 5: 28, 11 p. <http://www.afscet.asso.fr/resSystemica/Paris05/bricage3.pdf>

Bricage P. (2005c) La durabilité contractuelle du vivant. «Seules perdurent les associations à avantages et inconvénients réciproques et partagés.» In Anthropo-politique et gouvernance des systèmes complexes territoriaux., Presses de l'Université des Sciences Sociales de Toulouse, France, pp. 111-117. <http://www.afscet.asso.fr/PBtlseMCX33.pdf>

Bricage P. (2008) Cancer is a breaking of the cell's association for the reciprocal and mutual sharing of advantages and disadvantages through an aggression that results in a lack of non-autonomy (with Complementary Data, Figures & References)., Systemic Complexity: new prospects to complex system theory. **UES-EUS Congress**, Lisbon, Portugal, **CC-License**, Res. Systemica 7: 26 p.

Bricage P. (2009a) Les conditions d'intégration de l'humanité au sein de la nature terrestre. The Forgotten Messages of Ecology and Governance. Essai de lecture systémique de la crise mondiale. **Journées AFSCET**, Andé, 20 p., **CC-License**, <http://www.afscet.asso.fr/crise/pbcrise.pdf>

Bricage P. (2009b) L'évolution créatrice : métamorphoses et phylotagmotaphologie du vivant. L'évolution du Vivant a une direction. Comment est-elle orientée ?, "150 ans après Darwin, 70 ans après Teilhard", Lire l'évolution, Centre de Sèvres, Paris., 109 p., **CC-License**, <http://www.armsada.eu/pb/bernardins/phylotagmotaphologie.pdf>

Bricage P. (2010a) Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and DisAdvantages. The way, to be resilient and self-sustainable, the living systems run through. **ISSS Congress Governance for a Resilient Planet**, Waterloo, Canada., 12 p., **CC-License**, <http://journals.iss.org/index.php/proceedings54th/article/view/1491>

Bricage P. (2010b) Sémiologie graphique de l'espace-temps-action du vivant. **Journées AFSCET** Andé, Vers une nouvelle systémique ?, 37 p., **CC-License**, <https://www.afscet.asso.fr/Ande10/pbETA vivant10.pdf>

Bricage P. (2011a) La semi-autonomie du vivant : « pour que l'un survive, il faut d'abord que l'autre survive, et réciproquement ». Balancing between individualism and collectivism, between union and breaking: « for the one to survive, all the other ones must survive first ». In Approche Systémique de la Diversité, **UES-EUS Congress Crises et réponses systémiques**, Bruxelles, Belgique., 28 p., **CC-License**, <http://www.armsada.eu/files/pbARMSADA.pdf>

Bricage P. (2011b) The Social and Environmental Responsibility of Mankind. 1. About Man Interventions in the Living Networks: Modelling with a "Qualitative Animated Semiological Holistic" Point of View, a Systemic Approach, in an Holistic Way of Education to Explain The Issues of the Fighting Steps and the Escalade of Violence between Mankind and the Wild., 25 p., In Approche Systémique de la Diversité, **UES-EUS Congress Bruxelles, Belgique, IASCYS Workshop Social Responsibility**, **CC-License**, <http://www.armsada.eu/files/pbManSERqash.pdf>

Bricage P. (2013) Mobilisation de la matière et de l'énergie, et croissance, aux différents niveaux d'organisation des systèmes vivants : LES PRINCIPES ORGANISATEURS d'ÉMERGENCE des SYSTÈMES VIVANTS. **Journées AFSCET** Andé, Thermodynamique du changement. Aspects systémiques, 63 p., **CC-License** <http://www.afscet.asso.fr/Ande13/pbAnde2013.pdf>

Bricage P. (2014a) An Approach of Organizations and Management: Systemic Ethics, Democracy and Sustainability. Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and DisAdvantages. International Journal of Public and Private Management 1(1): 90-113.

Quelles modélisations pour le corps social ?

Bricage P. (2014b). Living Networks of Networks: The Societal and Environmental Responsibility of Humanity in the Fight between Humans and the Wild. *In Social Responsibility Beyond Neoliberalism and Charity*. Edit: Robert G. Dyck & Matjaž Mulej, Bentham Science, New York, USA, vol. 3, pp. 257-277.

Bricage P. (2014c) Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and DisAdvantages (ARMSADA) - A Fruitful Predictive Paradigm. *Systema* 2(2): 43-60.

Bricage P. (2014d) Ago-antagonisme et dilemme itéré des prisonniers : équilibre de NASH, optimum de Pareto, modèle de Lotka-Volterra, méthode du simplexe. Quelles réalités ? *Journées AFSCET Andé, L'Ago-Antagonisme Aujourd'hui.*, 33 p., **CC-License**, <http://www.afscet.asso.fr/Ande14/pbEBWafscet2014.pdf>

Bricage P. (2014e) Local versus global & individual versus whole competition between & within living systems. ARMSADA emergence and breaking. **UES-EUS Congress**, Lisboa, Valencia, Spain, 15 p., **CC-License**, <https://ojs.uclouvain.be/index.php/AES/article/view/57223/53693>

Bricage P. (2014f) Emergence, diversity and scale invariance of Living systems: a local versus global and individual versus whole power law. *Revista Internacional de Sistemas* 19: 5-33.

Bricage P. (2014g) Survival Management by Living Systems. A General System Theory of the Space-Time Modularity and Evolution of Living Systems: Associations for the Reciprocal and Mutual Sharing of Advantages and DisAdvantages ARMSADA., 16 p., **IASCYS workshop**, World Conference on Complex Systems, Agadir, Morocco, **CC-License**, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01065974>

Bricage P. (2015) Approche systémique transdisciplinaire de l'agoantagonisme et du dilemme des prisonniers à partir d'un corpus de bandes dessinées. *R2LMM* 2: 31 p., **CC-License**, http://www.litmedmod.ca/sites/default/files/r2lmm/r2-lmm_vol2_bricage.pdf

Bricage P. (2016) "WIN-WIN is not the solution but the problem! What next?", **EMCSR avantgarde**, Wien Österreich, 20 p., http://www.afscet.asso.fr/pagesperso/pbEMCSR2016slides-text_4-4.pdf

Bricage P. (2017) Modelling Space-Time-Action Modularity and Evolution of Living Systems. *In Advances in Complex Societal, Environmental and Engineered Systems*. Nemiche M. & M. Essaïdi, Springer, Berlin, pp. 269-297.

Bricage P. (2018) Déterminisme et indéterminisme multi-échelle, invariants et variance, des systèmes vivants. *Journées AFSCET*, Andé, *La systémique face à la question du déterminisme.*, 38 p., **CC-License**, <http://afscet.asso.fr/Ande18/pbricage-Ande2018-powerLaws-texte.pdf>

Bricage P. (2019) Education for Sustainability : Lessons from Living Systems Governance. *Journal of Systems Science and Information* 7(3): 199-226.

Bricage P. (2020) SARS-CoV-2 and COVID-19: Questions about a world ethical governance for a societal and environmental responsibility in health science research. **IRDO International Science and Business Conference SOCIAL RESPONSIBILITY**, 7 p. <https://www.irdo.si/irdo2020/referati/b-1-bricage.pdf>

Bricage P. & E. Nunez (2005) Atelier Vivant, Société et Systémique. *In La Gouvernance dans les Systèmes.*, **UES-EUS Congress**, Paris, France, 3 p., **CC-License**, <http://afscet.asso.fr/6ESSC/Workshop04.pdf>

Bricage P. & al. (1989) Évaluation des cortèges des Lépidoptères défoliateurs d'un bois de feuillus (bois de Pau). *Ikartzaleak* 13: 5-26.

Bricage P. & al. (2007) *Systémique & Accompagnement*, 155 p., **Colloque AFSCET & UPPA**, Pau, France, archives ouvertes du CNRS en Sciences Humaines & Sociales, <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00130212>

Brusatte S. (2023) Comment ont-ils pris la plume ? *Pour La Science* HS 119: 14-23.

Carsin D. (2016) La vertu républicaine selon Montesquieu. *Humanisme* 311: 37-42.

Collectif (2023) *Le nombre d'or*. Le Monde Hors série, RBA, Paris, France, 114 p.

Condon M.A. & al. (2014) Lethal Interactions Between Parasites and Prey Increase Niche diversity in a tropical Community. *Science* 343(6176): 1240-1244.

Hatton I.A. & al. (2015) The Predator-Prey Power Law: Biomass scaling across terrestrial and aquatic biomes. *Science* 349(6252): science.aac6284, 1053.

Lazarow P.B. (2011) Viruses exploiting peroxisomes. *Current Opinion in Microbiology* 14(4): 458-469.

Margulis L. (1981) *Symbiosis in Cell Evolution*. W.H.Freeman & Co Ltd, USA, 419 p.

Sapp J. (1994) *Evolution by Association. A History of Symbiosis.*, Oxford University Press, USA, 272 p.

Schaechter M. (2012) Lynn Margulis (1938-2011). *Science* 335(6066): 302.

Smith D.W. & al. (2023) Yellowstone after wolves. *BioScience* 53(4): 330-340.

Tekwa E.W. & al. (2023) The sizes of life. *PLoS ONE* 18(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283020>

Wood B.A. & A. Williams (2023) *Paranthropus boisei*. Si proche et si différent. *Pour La Science* 547: 26-33.